

双向 HFC 网络的设计与回传系统的调试

在双向 HFC 网络中，为保证回传通道的性能指标、顺利开展双向业务，除了选用高屏蔽性能的网络器材、严格工程施工规范外，网络的系统设计及回传系统的调试也至关重要。目前国家尚未制定回传系统的技术标准，缺乏可供实际操作的相关规范。近一两年来，我们边摸索、边实践，先后进行了七八个小区近万户的双向网建设和改造，并顺利开展了 Internet 接入等双向业务。在此，我们对双向网的设计和调试总结一些粗浅的认识和经验。

1、回传系统载波 / 噪声比 (C / N) 的确定

根据国际电信联盟 (99vU) 的相关标准，上行信道传输数据的误码率要求： $BER \leq 10^{-9}$ (的负 9 次方) 在 HFC 上行信道中一般采用 QP-SK 的调制方式，随着双向多功能业务的逐渐开展，为提高上行信道的传输效率，考虑到将来采用高一阶的调制方式 16QAM，其 IC / N 门限为 20dB，考虑到上行通道中的窄带连续波干扰和冲击干扰的影响，上行信道的 C / N 只要大于 24~26dB，结合使用 FEC，即可保证误码率优于 10^{-9} (的负 9 次方)，满足可靠传输的要求。所以，DOCSIS 标准上行 RF 信道取 $C / N \geq 25dB$ 。

在实际环境中，因 5MHz~18MHz 左右的频率范围存在着短波电台的窄带连续波干扰和各种工业电器、家用电器等的脉冲干扰，使 5MHz~18MHz 左右的低端噪声在任何时候都比高端噪声大，因而对千载噪比的确定应区别对待。参考有关规范标准，一般确定为：

5MHz~18MHz: $C / N \geq 20dB$

18MHz~65MHz: $C / N \geq 26dB$

在实际双向业务开展中，目前阶段 5MHz~18MHz 频段基本不用，所以回传通道的性能标准主要在于 18MHz 以上的性能情况。

2、网络设计

我们在理解 HFC 网络时，一般都是将其当作有线电视节目的传输分配网络，即它在光纤干线部分是星形的，而在同轴电缆部分是树形的。如果将 HFC 网设计为双向网络作为接入网来理解，其同轴分配网基本上是总线形结构。即不允许将光节点引出的同轴电缆再作为干线，而是一条分配线。

在传统的有线电视分配网中，一般是按正向系统设计。设计的原则之一是，保证下行最高频率点的正向路径损耗基本一致，如光节点输出电平为 99dB μ V，用户电平设计为 64dB μ V，则从光节点至各用户端的正向路径损耗均为 $99 - 64 = 35dB\mu V$ 。这样设计的网络对上行信号而言，因其最高频率仅为 65MHz，各用户的上行信号回传时，由于经由的路径各不相同，从各用户端至光节点的回传路径损耗往往要相差几十 dB，造成从各用户端至光节点的回传路径损耗严重不一致。这样的网络对回传业务的开展将是十分困难的，常常出现的情况是初期开通某些少数用户时容易，而回传用户增多后开通信号将非常困难。光节点小区面积越大，户数越多，要使各用户端的回传路径损耗保持一致的目的也越难达到，网络设计也越困难，这也是 HFC 网络光节点小区不能太大的一个重要原因。

在线缆调制解调器（CableModem） TDMA 应用中，要求所有 Cable Modem 的信号必须以相同的信号电平到达前端。如果其电平差异过大，即使管理 Cable Modem 的 CMTS 发出电平调整指令，试图使 Cable Modem 受控地调整输出电平，也难以使各用户电平上行到 CMTS 时一致，结果会出现某些用户上行信号 C/N 很低，而另一些用户上行信号产生过载失真。另外，如果噪声侵入的环境是均匀的，那么，在回传路径损耗较小的节点处的侵入噪声受到的衰减小，对回传通道的影响较大；而在回传路径损耗较大的节点处的侵入噪声受到的衰减大，对回传通道的影响则较小。因而整个回传通道各处的抗干扰能力处在一种不均衡的状态。

为保证各支路上行路径的总损耗近似相等，我们在网络设计时根据康特公司提出的技术规范，要求从各用户端至光节点的回传路径损耗差值小于 $\pm 5\text{dB}$ 。按下行正向系统的设计原则确定放大器间距，按上行回传系统进行回传电平的设计。

2.1 光节点及光缆干线的设计

对于光节点的覆盖户数，目前业界的一种倾向认为 500 户一个光节点为标准。这实际上是国外的一种经验模式，而国内城市一般人口密度高、住宅密度大，如果按 500 户一个光节点规划设计，其费用投入将十分巨大。我们认为在现阶段根据住宅片区地理情况及用户经济情况的不同，光节点之下三级放大器级联，覆盖半径 0.8km 左右、覆盖户数 1000~2500 户左右较为适宜。对于用户经济条件好、知识层次高的住宅片区，片区规划时可将光节点所带的用户数设计得少一些；对于城郊地段可将光节点所带用户数设计得多一些。随着网络系统的发展，待时机成熟时，再按每个光节点平均 500 户的规模逐渐拆分。

对于用户数较多的小区，随着多功能业务的逐渐开展，可在光站内部选择安装一个甚至两至四个反向光发射模块。这样网络结构基本不变，表面上看光节点覆盖的户数不变，而实际上回传通道一分为二，不仅使反向汇聚噪声一分为二，而且反向带宽也扩展了一倍。

2.2 电缆干线的设计

(1) 在网络的电缆干线设计时，尽量采用分配器作为分路器件，禁止使用分支损耗大于 10dB 的分支器，以保证各支路的上行路径损耗近似相等。其代价是使正向电平有所损失，放大器间距缩小。

(2) 网络路由尽量设计为多级星型传输结构，因为多级星型由中心到用户的分配过程正是由各用户上行逐级汇集的过程。只要保证了对称性，上行下行电平必然一致。

(3) 对回传通道进行均衡。对于一些特殊的支干线，如果回传路径损耗相对过小，可以设计插入一个回传衰减器，以减小与其它支路的回传路径损耗的差异。该回传衰减器理论上应为阶跃式的回传衰减器，只对回传频段进行衰减，完全独立于正向通道。但在实际应用中，这种衰减器难以生产，所以实际选用普通电缆均衡器，但要注意这对正向系统也略有影响，需要重新均衡正向系统。

2.3 用户分配网的设计

用户分配网在这里指楼放至用户端的分配网络，大量的实验数据表明，50%干扰信号来自用户分配网，分配网的抗干扰能力很大程度上决定了整个系统抗干扰性能。

(1) 采用集中分配方式。从理论上讲，楼道内采用集中分配的方式入户，既保证了各用户的下行路径损耗一致，又保证了各用户的上行路径损耗一致；同时减少了大量的电缆接头，降低了网络故障率，减少了干扰信号的侵入点，这是一种比较理想的办法。但这种方式施工难度较大，楼道内并行敷设的线路较多，户线管管径要求很粗。折中的办法是尽量多采用 4 分支、6 分支等分路器件。

(2) 层间线改造为四屏蔽电缆。用户分配网的电缆线全部采用四屏蔽电缆不仅减少了上行噪声的侵入，而且可以防止空中干扰信号对系统的影响。但在网络改造中，入户线很难重新敷设，较为实际的做法是层间线改为四屏蔽电缆，而入户线暂不改变。这样做一方面避免了重新入室敷设线路；另一方面的考虑是，假如楼内的噪声侵入环境是均匀的，从入户线侵入的噪声干扰经分路器件（如 416），干扰信号将衰减 16dB；而从层间线侵入的噪声干扰经分路器件（如 416），干扰信号将衰减 416 的插损 1.5dB。可见，假如侵入相同功率的噪声，层间线的侵入噪声因受到的衰减少，要比入室线的侵入噪声对回传通道的干扰大得多。将层间线更换为四屏蔽电缆实际上也就增强了层间线的抗干扰能力。

(3) 在楼内分配系统，因单元与单元之间的电缆长度较短，一般在 25m 左右，由此造成的不同单元之间的回传路径损耗相差不大，所以我们在楼内分配系统没有设置回传衰减（均衡）器。在国外，居民分散，人口密度低，用户分配网无法集中分配，干线、支干线及入户线均很长，因而常采用在用户端单独加装反间均衡器的办法，GI 等公司的理论介绍特别强调这一点。

(4) 在楼内分配系统，因单元与单元之间的电缆长度较短，一般在 25m 左右，由此造成的不同单元之间的回传路径损耗相差不大，所以我们在楼内分配系统没有设置回传衰减（均衡）器。在国外，居民分散，人口密度低，用户分配网无法集中分配，干线、支干线及入户线均很长，因而常采用在用户端单独加装反间均衡器的办法，GI 等公司的理论介绍特别强调这一点。